动态氨基酸供给对肉鸡生长性能、屠宰性能、营养物质采食量及肠道发育的影响[1]

黄向阳　刘国华　常文环　张　姝　蔡辉益*

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京 100081）

摘　要：本试验旨在根据肉鸡氨基酸需要模型，研究细分饲粮氨基酸供给对肉鸡生长性能、屠宰性能、营养物质采食量及肠道发育的影响。选取 1 日龄爱拔益加（AA）肉公鸡 192 只，随机分为 4 个组，分别为 A 组（2 阶段）、B 组（3 阶段）、C 组（6 阶段）和 D 组（12 阶段），每组 6 个重复，每个重复 8 只鸡，试验期 42 d。结果表明：1）A 组肉鸡平均日增重（ADG）显著高于 B、C 和 D 组($P<0.05$)。A、B、C 组之间肉鸡平均日采食量（ADFI）差异不显著($P>0.05$)，均显著高于 D 组($P<0.05$)。A 组肉鸡料重比（F/G）显著低于 B、C 和 D 组($P<0.05$)。2）B 组肉鸡屠宰率显著高于 A、C 和 D 组（$P<0.05$）。B 组肉鸡全净膛率显著高于 C 和 D 组（$P<0.05$），与 A 组差异不显著（$P>0.05$）。A 组肉鸡胸肌率显著高于 B、C 和 D 组（$P<0.05$）。A 组肉鸡腹脂率显著低于 B、C 和 D 组（$P<0.05$）。3）D 组肉鸡代谢能采食量显著低于 A、B 和 C 组（$P<0.05$）。A 组肉鸡粗蛋白质及赖氨酸采食量显著高于 B、C 和 D 组（$P<0.05$），B、C 组肉鸡粗蛋白质及赖氨酸采食量显著高于 D 组（$P<0.05$）。A 组肉鸡蛋氨酸采食量显著高于 B 和 D 组（$P<0.05$）。A 组肉鸡含硫氨基酸采食量显著高于 B 和 D 组（$P<0.05$）。D 组肉鸡苏氨酸采食量显著低于 A 和 C 组（$P<0.05$）。4）A 组肉鸡十二指肠绒毛高度、绒毛高度/隐窝深度(V/C)值显著高于 B、C 和 D 组（$P<0.05$）。各组肉鸡空肠、回肠绒毛高度、隐窝深度及 V/C 值差异不显著($P>0.05$)。5）42 日龄，A 组肉鸡体重显著高于 B、C 和 D 组($P<0.05$)，B 和 C 组肉鸡体重显著高于 D 组($P<0.05$)。B、C 和 D 组肉鸡单位增重成本与 A 组相比差异不显著($P>0.05$)。综上，2 阶段饲喂能够促进肉鸡十二指肠发育，提高肉鸡营养物质采食量。综合生长性能、屠宰性能及单位增重成本考虑，建议采用 2 阶段肉鸡饲喂方式。

关键词：肉鸡；动态氨基酸；生长性能；屠宰性能；肠道发育

中图分类号：S831

收稿日期：2016–12–29
基金项目：国家肉鸡产业技术体系（CARS-42）
作者简介：黄向阳（1991–），男，河南西平人，硕士研究生，从事家禽营养与饲料科学研究。E-mail: huangxycaas@163.com
*通信作者：蔡辉益，研究员，博士生导师，E-mail: caihuiyi@caas.cn

各国现行的饲养标准中，营养需要量都是在环境因素相对固定的条件下，动物处于特定生产或生长阶段时对营养物质的静态需要量[1]。随着现代动物营养学研究的不断深入，“动态营养技术”在单胃动物猪、禽及水产动物的饲粮配制中广泛应用，在提高养殖动物生产水平、节约生产成本、降低养殖排泄物氮磷水平、保障畜产品质量安全等方面发挥着重要的作用[2]。动态营养是根据动物在不同生长阶段、环境、生产目的等条件下对营养物质的需要，通过精准饲粮配制和饲喂技术逼近动物对营养的真实需要[3]。

中国是养殖大国，肉鸡养殖在畜牧业中占据十分重要的地位，而饲粮营养供给对肉鸡生长具有非常重要的作用。在肉鸡饲粮成本中，蛋白质成本占据非常大的比例[4]，而饲粮中蛋白质发挥作用是基于氨基酸及其生物学功能[5]，因此有必要对饲粮氨基酸动态供给对肉鸡生长发育的影响进行研究。Warren 等[6]根据 Emmert 等[7]确定的肉鸡氨基酸需要线性模型进行饲粮配制，结果发现，与饲喂 NRC（1994）推荐氨基酸需要量相比，在 1~21 日龄及 40~61 日龄，肉鸡生长性能无显著差异，此外，胴体产量也无显著差异。Brewer 等[8]研究表明，与按肉鸡产业平均营养水平饲喂相比，多阶段精准饲喂不会对增重、饲料转化率及胴体产量造成不良影响，但是能够显著降低生产成本。本文以爱拔益加（AA）肉仔鸡为研究对象，旨在研究动态氨基酸供给对肉鸡生长性能、屠宰性能、营养物质采食量及小肠黏膜结构的影响，以期为肉鸡多阶段精准饲喂提供理论依据，进而提高生产效益。

1 材料与方法

1.1 试验动物和地点

试验动物为 1 日龄 AA 肉公鸡，购于北京康达畜禽公司，饲养试验于中国农业科学院北京畜牧兽医研究所昌平基地环境控制仓进行。

1.2 试验设计与饲粮

本试验采用单因素完全随机分组设计，选取 1 日龄健康 AA 肉公鸡 192 只，随机分为 4 个组，每组 6 个重复，每个重复 8 只鸡，各重复之间肉鸡初始体重差异不显著（P>0.05）。A 组：2 阶段（1~3 周龄和 4~6 周龄），饲粮配制参考 NY/T 33—2004 中的“肉用仔鸡营养需要之一”，主要考虑饲粮代谢能、粗蛋白质、赖氨酸、蛋氨酸、蛋氨酸+半胱氨酸和苏氨酸水平；B 组：3 阶段（1~2 周龄、3~4 周龄和 5~6 周龄）；C 组：6 阶段（每周 1 个阶段）；D 组：12 阶段（每 3.5 d 为 1 个阶段），B、C、D 组饲粮氨基酸水平计算参照田亚东[9]，主

要考虑饲粮赖氨酸、蛋氨酸、蛋氨酸+半胱氨酸和苏氨酸水平。田亚东[9]在计算各阶段饲粮氨基酸水平时，是根据所建立的肉鸡氨基酸需要量模型计算出肉鸡生长某一阶段氨基酸需要量与对应阶段根据肉鸡代谢能需要量模型计算出的代谢能需要量的比值确定的，将肉鸡生长各阶段代谢能固定为定值，通过比值与对应阶段代谢能定值的乘积计算出饲粮中的氨基酸水平。本试验研究重点在于饲粮氨基酸动态供给，因此 B 组在 1~2 周龄及 5~6 周龄、C 和 D 组在 1~3 周龄及 4~6 周龄除饲粮粗蛋白质及氨基酸水平外，代谢能、钙、磷等其他营养水平均与 A 组保持一致。B 组肉鸡在 3~4 周龄，代谢能及钙、磷等其他营养水平均参考 NY/T 33—2004《鸡饲养标准》，取 1~3 周龄和 4~6 周龄的平均值，以期使除饲粮氨基酸及粗蛋白质外，其他营养水平在各组尽可能保持一致，满足肉鸡生长需要。为使计算的饲粮氨基酸水平尽可能精确，本试验在根据模型计算饲粮氨基酸水平时均参考公鸡试验数据，而田亚东[9]在文中计算各阶段饲粮氨基酸水平时参考的是全群（公母混合）的数据。配制饲粮前对饲料原料氨基酸水平进行实测。饲养过程严格按照 AA 肉仔鸡饲养标准控制温度、湿度、光照，确保各个重复肉鸡生长环境尽可能一致。每 3.5 d 进行换料时，将 4 个组的余料清理干净，换上新料。肉鸡自由采食，充足饮水，按正常免疫程序进行免疫接种。各组饲粮组成及营养水平见表 1、表 2、表 3 和表 4。

表 1　2 阶段饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of 2 phase diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	饲粮编号 Diet number	
	1	2
原料 Ingredients		
玉米 Corn	51.79	55.47
豆粕 Soybean meal	38.86	34.77
大豆油 Soybean oil	4.66	5.60
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.89	1.61
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.47	0.35
苏氨酸 Thr	0.49	0.42
食盐 NaCl	0.30	0.30

石粉 Limestone	0.84	0.83
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.15
预混料 Premix[1)]	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.54	12.96
粗蛋白质 CP	21.50	20.00
赖氨酸 Lys	1.70	1.55
蛋氨酸 Met	0.59	0.47
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.91	0.76
苏氨酸 Thr	0.81	0.72
钙 Ca	1.00	0.90
有效磷 AP	0.45	0.40

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 10 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 20 IU，VB_1 2.0 mg，VK_3 2.5 mg，VB_2 4.0 mg，VB_6 5.0 mg，VB_{12} 0.02 mg，*D*–泛酸钙 *D*-pantothenic acid 11.0 mg，烟酸 nicotinic acid 35 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，生物素 biotin 0.12 mg，Fe (as ferrous sulfate) 80 mg，Cu (as copper sulfate) 8 mg，Zn (as zinc sulfate) 78 mg，Mn (as manganese sulfate) 100 mg，I (as potassium iodide) 0.34 mg，Se (as sodium selenite) 0.15 mg。下表同。The same as below.

[2)] 营养水平为计算值。下表同。Nutrient levels were calculated values. The same as below.

表 2 3 阶段饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of 3 phase diets (air-dry basis) %

项目 Items	饲粮编号 Diet number		
	1	2	3
原料 Ingredients			
玉米 Corn	50.63	56.12	63.66
豆粕 Soybean meal	40.21	34.65	27.57

大豆油 Soybean oil	4.72	4.78	4.48
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.88	1.76	1.65
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.28	0.37	0.39
苏氨酸 Thr	0.44	0.49	0.44
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30
石粉 Limestone	0.84	0.85	0.86
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.18	0.15
预混料 Premix	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels			
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.54	12.75	12.96
粗蛋白质 CP	22.00	20.00	17.50
赖氨酸 Lys	1.74	1.55	1.30
蛋氨酸 Met	0.41	0.49	0.49
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.73	0.78	0.75
苏氨酸 Thr	0.77	0.79	0.70
钙 Ca	1.00	0.95	0.90
有效磷 AP	0.45	0.43	0.40

表 3 6 阶段饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 3 Composition and nutrient levels of 6 phase diets (air-dry basis) %

项目 Items	饲粮编号 Diet number					
	1	2	3	4	5	6
原料 Ingredients						
玉米 Corn	50.55	53.68	56.71	59.52	63.51	65.20
豆粕 Soybean meal	40.23	37.37	34.54	31.18	27.60	26.15
大豆油 Soybean oil	4.75	4.35	3.99	5.06	4.53	4.29

磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.88	1.89	1.91	1.63	1.65	1.66
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.30	0.34	0.42	0.36	0.42	0.42
苏氨酸 Thr	0.45	0.52	0.57	0.46	0.48	0.46
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
石粉 Limestone	0.84	0.85	0.86	0.84	0.86	0.87
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15
预混料 Premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels						
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.54	12.54	12.54	12.96	12.96	12.96
粗蛋白质 CP	22.00	21.00	20.00	18.75	17.50	17.00
赖氨酸 Lys	1.74	1.64	1.55	1.43	1.30	1.25
蛋氨酸 Met	0.43	0.46	0.54	0.47	0.52	0.53
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.75	0.77	0.83	0.75	0.78	0.78
苏氨酸 Thr	0.78	0.83	0.87	0.74	0.74	0.71
钙 Ca	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90
有效磷 AP	0.45	0.45	0.45	0.40	0.40	0.40

表 4　12 阶段饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 4　Composition and nutrient levels of 12 phase diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	饲粮编号 Diet number											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
原料 Ingredients												
玉米 Corn	50.55	52.08	53.65	55.22	56.74	58.66	59.54	61.52	63.51	64.36	65.16	66.04
豆粕 Soybean meal	40.23	38.80	37.38	35.95	34.53	32.77	31.18	29.40	27.60	26.87	26.14	25.42
大豆油 Soybean oil	4.75	4.56	4.36	4.16	3.98	3.74	5.05	4.79	4.53	4.42	4.31	4.18

磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.88	1.89	1.89	1.90	1.91	1.92	1.63	1.64	1.65	1.65	1.66	1.66
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.30	0.33	0.34	0.37	0.41	0.45	0.35	0.38	0.42	0.42	0.44	0.43
苏氨酸 Thr	0.45	0.49	0.53	0.54	0.57	0.59	0.46	0.47	0.48	0.47	0.47	0.45
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
石粉 Limestone	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
预混料 Premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels												
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.54	12.54	12.54	12.54	12.54	12.54	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96
粗蛋白质 CP	22.00	21.50	21.00	20.50	20.00	19.38	18.75	18.13	17.50	17.25	17.00	16.75
赖氨酸 Lys	1.29	1.34	1.37	1.38	1.38	1.36	1.10	1.07	1.04	1.00	0.95	0.90
蛋氨酸 Met	0.43	0.45	0.46	0.46	0.46	0.45	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.30
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.70	0.73	0.76	0.79	0.82	0.85	0.74	0.76	0.77	0.78	0.78	0.78
苏氨酸 Thr	0.78	0.81	0.84	0.85	0.87	0.88	0.74	0.74	0.74	0.73	0.72	0.70
钙 Ca	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
有效磷 AP	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能

肉鸡 1 日龄以重复为单位称重，在肉鸡 42 日龄，以重复为单位称重（停料 12 h、不停水），各组肉鸡每 3.5 d 进行截料，并统计耗料量，计算各组肉鸡平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）及料重比（F/G）。

1.3.2 屠宰性能

在肉鸡 42 日龄，每个组随机选取 12 只鸡（每个重复 2 只），称活重，宰杀后称屠体重、

全净膛重、胸肌重、腿肌重、腹脂重，计算屠宰率、全净膛率、胸肌率、腿肌率和腹脂率。具体计算公式如下：

屠宰率（%）=100×屠体重/活重；

全净膛率（%）=100×全净膛重/活重；

胸肌率（%）=100×胸肌重/全净膛重；

腿肌率（%）=100×腿肌重/全净膛重；

腹脂率（%）=100×腹脂重/（全净膛重+腹脂重）。

1.3.3　42 d 营养物质采食量

以重复为单位，准确记录肉鸡在每 3.5 d 的采食量，根据与其对应生长阶段采食饲粮营养水平，即可计算出肉鸡 42 d 各种营养物质的采食量。计算公式如下：

肉鸡 42 d 营养物质采食量=∑3.5×平均日采食量（3.5 d）×对应饲粮营养成分含量。

1.3.4　小肠黏膜结构

在肉鸡 42 日龄，每个组选取体重接近平均体重的 6 只鸡（每个重复 1 只）进行屠宰，立即摘取十二指肠、空肠、回肠各肠段中间部位 1.5 cm 左右的小段，用新配制的生理盐水冲洗干净后迅速放入 4%甲醛溶液固定。将固定好的组织经脱水→包埋→切片、烤片→二甲苯脱蜡→水化→染色→封片处理后，用显微镜观察测定，并使用 Image-ProPlus 7.0 软件进行数据测量。测量指标包括绒毛高度和隐窝深度，每张切片取 5 个视野，取平均值作为最终结果，并记录数据，计算绒毛高度/隐窝深度（villus height/crypt depth,V/C）值（小肠绒毛高度：从肠腺开口至绒毛顶端的垂直高度距离；隐窝深度：从隐窝开口至隐窝基部的垂直距离）。

1.3.5　体重及单位增重成本

根据肉鸡初重和末重，计算单位增重成本。

单位增重成本=∑3.5×平均日采食量（3.5 d）×对应饲粮成本/平均体增重。

1.4　数据统计分析

试验数据用平均值±标准差表示，采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA），检验组间差异显著性，Duncan 氏法进行多重比较，显著性水平为 P<0.05。

2　结果与分析

2.1　动态氨基酸供给对肉鸡生长性能的影响

动态氨基酸供给对肉鸡生长性能的影响见表 5，由表可知，A 组肉鸡 ADG 显著高于 B、C 和 D 组(P<0.05)，B、C 组肉鸡 ADG 显著高于 D 组(P<0.05)，但 B 组肉鸡 ADG 与 C 组差异不显著(P>0.05)。A、B、C 组之间肉鸡 ADFI 差异不显著(P>0.05)，均显著高于 D 组(P<0.05)。A 组肉鸡 F/G 显著低于 B、C 和 D 组(P<0.05)，B 组肉鸡 F/G 显著低于 D 组(P<0.05)，但 B 组肉鸡 F/G 与 C 组差异不显著(P>0.05)。

表 5　动态氨基酸供给对肉鸡生长性能的影响

Table 5　Effects of dynamic supply of amino acids on growth performance of broilers

组别 Groups	平均日增重 ADG/(g/d)	平均日采食量 ADFI/(g/d)	料重比 F/G
A	69.12 ± 4.85^{a}	106.23 ± 6.48^{a}	1.58 ± 0.03^{c}
B	64.45 ± 2.91^{b}	103.63 ± 2.97^{a}	1.64 ± 0.03^{b}
C	61.75 ± 4.23^{b}	102.92 ± 6.34^{a}	1.68 ± 0.04^{ab}
D	56.02 ± 3.06^{c}	95.77 ± 5.49^{b}	1.72 ± 0.06^{a}

同列数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same column, values with no letter or the same small letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　动态氨基酸供给对肉鸡屠宰性能的影响

动态氨基酸供给对肉鸡屠宰性能的影响见表 6，由表可知，B 组肉鸡屠宰率显著高于 A、C 和 D 组（P<0.05），但 A、C、D 组肉鸡屠宰率差异不显著（P>0.05）。B 组肉鸡全净膛率显著高于 C、D 组（P<0.05），与 A 组差异不显著（P>0.05）。A 组肉鸡胸肌率显著高于 B、C 和 D 组（P<0.05）。各组之间腿肌率差异不显著（P>0.05）。A 组肉鸡腹脂率显著低于 B、C 和 D 组（P<0.05），B、C 组肉鸡腹脂率显著低于 D 组（P<0.05），但 B、C 组肉鸡腹脂率差异不显著（P>0.05）。

表 6　动态氨基酸供给对肉鸡屠宰性能的影响

Table 6　Effects of dynamic supply of amino acids on carcass performance of broilers　　%

组别 Groups	屠宰率 Dressed percentage	全净膛率 Percentage of eviscerated yield	胸肌率 Percentage of breast muscle	腿肌率 Percentage of leg muscle	腹脂率 Percentage of abdominal fat
A	86.47±1.29[bc]	69.13±0.57[bc]	13.19±0.81[a]	11.30±0.78	2.04±0.38[c]
B	87.12±0.86[a]	69.52±1.14[b]	12.12±0.35[b]	11.30±0.73	2.72±0.34[b]
C	85.15±0.75[c]	67.80±0.88[c]	11.79±0.66[b]	10.67±0.75	2.79±0.35[b]
D	86.54±1.53[bc]	67.75±1.67[c]	11.70±0.34[b]	10.89±0.49	3.31±0.46[a]

2.3 动态氨基酸供给对肉鸡营养物质采食量的影响

动态氨基酸供给对肉鸡营养物质采食量的影响见表 7，由表可知，D 组肉鸡代谢能采食量显著低于 A、B 和 C 组（P<0.05），但 A、B、C 组肉鸡代谢能采食量差异不显著（P>0.05）。A 组肉鸡粗蛋白质及赖氨酸采食量显著高于处理 B、C 和 D 组（P<0.05），B、C 组肉鸡粗蛋白质及赖氨酸采食量显著高于 D 组（P<0.05），但 B、C 组肉鸡粗蛋白质及氨基酸采食量差异不显著（P>0.05）。A 组肉鸡蛋氨酸采食量显著高于 B、D 组（P<0.05），但 B、C、D 组肉鸡蛋氨酸采食量差异不显著（P>0.05）。A 组肉鸡含硫氨基酸（蛋氨酸+半胱氨酸）采食量显著高于 B、D 组（P<0.05），但与 C 组差异不显著（P>0.05）。D 组肉鸡苏氨酸采食量显著低于处理 A、C 组（P<0.05），但与 B 组差异不显著（P>0.05）。

表 7 动态氨基酸供给对肉鸡营养物质采食量的影响

Table 7　Effects of dynamic supply of amino acids on nutrient intakes of broilers

组别 Groups	代谢能 Metabolic energy/（MJ/只）	粗蛋白质 Crude protein（g/只）	赖氨酸 Lys/（g/只）	蛋氨酸 Met/（g/只）	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys/（g/只）	苏氨酸 Thr/（g/只）
A	57.67±3.26[a]	915.11±50.88[a]	71.26±3.95[a]	22.40±1.21[a]	35.86±1.96[a]	33.37±1.84[a]
B	55.94±1.50[a]	823.15±20.73[b]	62.69±1.55[b]	20.97±0.57[b]	33.04±0.87[bc]	32.20±0.83[ab]
C	55.78±3.32[a]	799.23±46.42[b]	60.40±3.49[b]	22.11±1.33[ab]	33.83±2.01[ab]	32.95±1.93[a]
D	51.72±2.97[b]	733.85±40.29[c]	55.29±3.00[c]	20.77±1.20[b]	31.54±1.80[c]	30.66±1.69[b]

2.4　动态氨基酸供给对肉鸡小肠黏膜结构的影响

动态氨基酸供给对肉鸡十二指肠黏膜结构的影响见表 8，由表可知，A 组肉鸡十二指肠绒毛高度、V/C 值显著高于 B、C 和 D 组（P<0.05），但 B、C、D 组间上述指标差异不显著（P>0.05）。各组肉鸡十二指肠隐窝深度差异不显著（P>0.05）。

表 8　动态氨基酸供给对肉鸡十二指肠黏膜结构的影响

Table 8　Effects of dynamic supply of amino acids on mucosal structure in duodenum of broilers

组别 Groups	绒毛高度 Villus height/μm	隐窝深度 Crypt depth/μm	绒毛高度/隐窝深度 V/C
A	1 504.43±149.30[a]	211.52±16.24	7.11±0.46[a]
B	1 238.42±251.44[b]	220.38±16.33	5.61±0.96[b]
C	1 143.25±174.71[b]	202.13±27.24	5.75±1.15[b]
D	1 254.70±178.12[b]	222.62±22.25	5.73±1.26[b]

动态氨基酸供给对肉鸡空肠黏膜结构的影响见表 9，由表可知，各组肉鸡空肠绒毛高度、隐窝深度和 V/C 值差异均不显著（P>0.05）。

表 9　动态氨基酸供给对肉鸡空肠黏膜结构的影响

Table 9　Effects of dynamic supply of amino acids on mucosal structure in jejunum of broilers

组别 Groups	绒毛高度 Villus height/μm	隐窝深度 Crypt depth/μm	绒毛高度/隐窝深度 V/C
A	1 293.33±143.77	169.55±23.12	7.68±0.76
B	1 487.37±248.03	191.13±21.70	7.77±0.92
C	1 381.58±180.00	187.37±18.52	7.36±0.40
D	1 297.45±156.23	182.32±7.95	7.11±0.71

动态氨基酸供给对肉鸡回肠黏膜结构的影响见表 10，由表可知，各组肉鸡回肠绒毛高度、隐窝深度和 V/C 值差异均不显著（P>0.05）。

表 10　动态氨基酸供给对肉鸡回肠黏膜结构的影响

Table 10　Effects of dynamic supply of amino acids on mucosal structure in ileum of broilers

组别 Groups	绒毛高度 Villus height/μm	隐窝深度 Crypt depth/μm	绒毛高度/隐窝深度 V/C
A	1 199.67±108.01	178.73±17.38	6.89±1.44
B	1 138.58±53.88	159.68±19.10	7.20±0.74
C	1 153.67±122.60	173.43±12.86	6.66±0.70
D	1 106.20±29.11	178.73±17.38	6.24±0.63

2.5　动态氨基酸供给对肉鸡体重及单位增重成本的影响

动态氨基酸供给对肉鸡体重及单位增重成本的影响见表 11，由表可知，肉鸡 1 日龄体重差异不显著（*P*>0.05）；在 42 日龄，A 组肉鸡体重显著高于 B、C 和 D 组（*P*<0.05），D 组肉鸡体重显著低于 B、C 组（*P*<0.05）。B、C、D 组肉鸡单位增重成本与 A 组相比差异不显著（*P*>0.05），B 组肉鸡单位增重成本显著低于 D 组（*P*<0.05）。

表 11　动态氨基酸供给对肉鸡体重及单位增重成本的影响

Table 11　Effects of dynamic supply of amino acids on body weight and cost of unit live weight gain of broilers

组别 Groups	1 日龄体重 BW of 1 day old/g	42 日龄体重 BW of 42 days old/g	单位增重成本 Cost of unit live weight gain/(元/kg)
A	45.94±0.71	2 948.96±204.04^{a}	4.67±0.16^{ab}
B	46.04±0.81	2 753.04±121.66^{b}	4.62±0.25^{b}
C	45.92±0.78	2 639.61±177.93^{b}	4.80±0.10^{ab}
D	45.79±0.64	2 398.62±128.14^{c}	4.88±0.18^{a}

3　讨　论

3.1　动态氨基酸供给对肉鸡生长性能的影响

Saki 等[4]以科宝和 AA 肉鸡为研究对象，探究 3 种不同的饲喂方式，即 NRC（1994）、单一阶段营养供给及多阶段营养供给对肉鸡生长性能的影响，结果表明 AA 肉鸡按 NRC（1994）营养标准进行饲喂，生长性能最佳。Brewer 等[10]等研究了 2 种不同阶段氨基酸供给方式对 3 个品种肉鸡在 18~32 日龄生长性能的影响，结果表明，与单一阶段氨基酸供应相比，动态氨基酸供给不影响甚至会提高各个品种肉鸡的生长性能。然而，在 Brewer 等[11]另一项研究中发现，多阶段氨基酸供给对不同品种肉鸡生长性能的影响不一致。邱殿锐等[12]研究了 2、3、6 阶段营养供给对罗斯 308 肉仔鸡生长性能的影响，结果表明 3 阶段营养供给

能够显著提高肉鸡 ADG，显著降低 F/G。张洁[13]研究表明，在理想氨基酸模型下，周龄饲喂对比常规饲喂，肉鸡在 1~49 日龄体增重、采食量和饲料转化率无显著差异。本试验结果表明，随着营养阶段的增加，肉鸡的 ADG 呈现下降的趋势，而肉鸡的 ADFI 呈现上升趋势，F/G 呈现上升趋势，这与 Saki 等[4]研究基本一致，即按照目前公认的营养标准饲喂肉鸡，生长性能表现最好。分析原因：第一，肉鸡生长具有补偿效应[14]，即使按照相对固定的营养标准进行饲喂造成肉鸡前期营养物质供应不足，但是肉鸡可以通过生长后期的补偿生长，依然可以获得较好的生长性能；第二，随着饲喂阶段不断细分，肉鸡采食饲粮营养水平变化不断加快，营养水平的变化对肉鸡是一种应激，对肉鸡的应激也在不断加大，因此会对肉鸡的生长性能造成不良影响。

3.2　动态氨基酸供给对肉鸡屠宰性能的影响

Warren 等[6]以科宝肉鸡为试验对象，研究采用 3 种阶段营养供给方式对肉鸡屠宰性能的影响，结果表明，不同饲喂方式对肉鸡全净膛率、胸肌率、腿肌率影响不显著，但采用 NRC（1994）饲喂方式，肉鸡腹脂率显著低于按照伊利诺大学肉鸡理想蛋白质模型（IICP）的饲喂方式，但与按照理想氨基酸方程进行周龄饲喂相比，腹脂率差异不显著。Brewer 等[11]研究表明，常规饲喂方式与多阶段氨基酸营养供给相比，能够提高肉鸡胸肌率，但是对不同品种肉鸡的提高程度不同。本试验结果表明，按照我国《鸡饲养标准》进行 2 阶段饲喂的肉鸡相比其他组，显著提高了肉鸡的胸肌率，降低了肉鸡腹脂率，这与以上研究结果基本一致。有研究表明，腹脂含量与饲粮粗蛋白质水平呈显著负相关[15-17]，在本试验中，2 阶段饲粮粗蛋白质水平整体高于另外 3 个组，因此导致 2 阶段饲喂肉鸡腹脂率较低。

3.3　动态氨基酸供给对肉鸡营养物质采食量的影响

动物营养物质的采食量对其生长发育具有极其重要的影响。Warren 等[6]研究结果表明，3 种不同的动态氨基酸供给方式对 1~21 日龄肉鸡赖氨酸、含硫氨基酸及苏氨酸采食量影响不显著，但是在肉鸡 40~61 日龄，采用 NRC（1994）对肉鸡进行饲喂，肉鸡赖氨酸及苏氨酸采食量显著高于采用 IICP 及按照理想氨基酸方程进行周龄饲喂处理。这与本试验研究结果基本相符，在本试验中，肉鸡采用 2 阶段饲喂，粗蛋白质、赖氨酸、蛋氨酸、含硫氨基酸及苏氨酸采食量均表现最高。此外，黄金秀等[18]研究表明，具有最大 ADG 的鸡群往往表现出最大的采食量，这与本试验研究结果一致。

3.4　动态氨基酸供给对肉鸡小肠黏膜结构的影响

胃肠道的发育和功能对养分的消化利用具有重要影响。小肠绒毛是小肠的主要黏膜结构，其长度、隐窝深度及 V/C 值是衡量动物消化吸收功能的重要指标[19]。Caspary[20]研究表明，绒毛高度、V/C 值升高，隐窝深度降低，表明小肠消化吸收功能增强。关于动态氨基酸供给对肉鸡肠道发育的影响较少。孙建立等[21]研究表明，饲粮粗蛋白质水平不影响鲁西斗鸡十二指肠、空肠和回肠发育水平。但郝瑞荣等[22]研究发现，饲粮粗蛋白质水平过高会抑制小肠不同长短绒毛的绝对生长。在本试验中，各组空肠、回肠黏膜结构各项指标间差异均不显著，这与孙建立等[21]研究结果基本一致，但是 2 阶段饲喂与其他处理相比，十二指肠绒毛高度、V/C 值均显著提高，表明 2 阶段饲喂肉鸡小肠发育水平较好。分析原因可能是 2 阶段饲喂肉鸡营养物质采食总量较多，刺激了十二指肠的发育，具体原因有待进一步进行研究。

3.5　动态氨基酸供给对肉鸡体重及单位增重成本的影响

田亚东[9]研究发现，按模型预测值配制饲粮并采用周龄饲喂，可以降低肉鸡增重成本。张洁[13]发现利用理想氨基酸模型及周龄饲喂，对肉鸡 42 日龄体重影响不显著。Brewer 等[11]研究表明，按照理想氨基酸模型细化氨基酸供给，与按常规营养标准方式饲喂肉鸡相比，降低了肉鸡增重成本，但是对于不同品种肉鸡降低幅度不同，此外细化氨基酸供给未对 3 个品种肉鸡试验末体重产生不良影响，但是却显著降低了其中 1 个品种肉鸡的试验末体重，本试验研究结果与 Brewer 等[11]部分一致，采用我国 2004 年发布的《肉鸡饲养标准》，即 2 阶段营养标准供给饲喂肉鸡，肉鸡试验末体重最大。但是与 2 阶段饲喂肉鸡相比，细分阶段氨基酸供给并未降低肉鸡单位增重成本。单位增重成本未下降的原因可能与计算饲粮成本时各种饲料原料，尤其是玉米、豆粕及氨基酸的价格设置值有关。

4　结　论

2 阶段饲喂能够促进肉鸡十二指肠发育，提高肉鸡营养物质采食量。综合生长性能、屠宰性能及增重成本考虑，建议采用 2 阶段肉鸡饲喂方式。

参考文献：

[1]　刘国华,蔡辉益.肉鸡生长性能及营养需要预测技术研究进展[C]//动物营养研究进展(2012 年版).北京:中国农业科学技术出版社,2012.

[2]　姚巧粉,吴金亮,高新,等.精准营养技术在我国肉羊生产中的应用[J].饲料与畜牧:新饲料,2015(4):14–17.

[3] 计成.动物营养学[M].北京:高等教育出版社,2008:290–291.

[4] SAKI A A,MOMENI M,TABATABAEI M M,et al.Effect of feeding programs on broilers cobb and arbor acres plus performance[J].International Journal of Poultry Science,2010,9(8):795–800.

[5] LEESON S,SUMMERS J D.Protein and amino acids[M]//LEESON S,SUMMERS J D.Scotts nutrition of the chicken.Ontario,Canada:University Books,2001:102–175.

[6] WARREN W A,EMMERT J L.Efficacy of phase-feeding in supporting growth performance of broiler chicks during the starter and finisher phases[J].Poultry Science,2000,79(5):764–770.

[7] EMMERT J L,BAKER D H.Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets[J].Journal of Applied Poultry Research,1997,6(4):462–470.

[8] BREWER V,PILLAII P,OCONNOR-DENNIE T,et al.Phase-feeding during the grower and finisher phases:impact on growth,uniformity,and production cost[J]//Poultry Science,2006,85:205–206.

[9] 田亚东.肉鸡能量和氨基酸需要动态模型的建立[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2005.

[10] BREWER V B,OWENS C M,EMMERT J L.Phase feeding in a small-bird production scenario:effect on growth performance,yield,and fillet dimension[J].Poultry Science,2012,91(5):1262–1268.

[11] BREWER V B,OWENS C M,EMMERT J L.Phase feeding in a big-bird production scenario:effect on growth performance,yield,and fillet dimension[J].Poultry Science,2012,91(5):1256–1261.

[12] 邱殿锐,郭建军,赵伍祥,等.不同阶段饲养法对肉鸡生产性能的影响[J].中国饲料,2013(20):11–12,15.

[13] 张洁.理想氨基酸模型周龄饲喂对肉仔鸡生产性能及几种代谢指标的影响[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2004.

[14] 曹兵海,苏华维,呙于明.肉鸡补偿生长技术研究进展[J].动物营养学

报,2006,18(3):208–214.

[15] SUMMERS J D,LEESON S.Broiler carcass composition as affected by amino acid supplementation[J].Canadian Journal of Animal Science,1985,65(3):717–723.

[16] MORAN E T,BUSHONG R D,BILGILI S F.Reducing dietary crude protein for broilers while satisfying amino acid requirements by least-cost formulation:live performance,litter composition,and yield of fast-food carcass cuts at six weeks[J].Poultry Science,1992,71(10):1687–1694.

[17] HAN Y M,SUZUKI H,PARSONS C M,et al.Amino acid fortification of a low-protein corn and soybean meal diet for chicks[J].Poultry Science,1992,71(7):1168–1178.

[18] 黄金秀,吕林,张亿一,等.禽类采食量生理调节因子的研究进展[J].动物营养学报,2006,18(增刊):353–360.

[19] 肖曼.酵母培养物对肉仔鸡生长性能、肠黏膜结构及肠道菌群的影响[J].中国畜牧兽医文摘,2014(12):14.

[20] CASPARY W F.Physiology and pathophysiology of intestinal absorption[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1992,55(1):299S–308S.

[21] 孙建立,张相伦,姜淑贞,等.饲粮粗蛋白质水平对鲁西斗鸡肠道发育的影响[J].中国饲料,2013(20):33–36.

[22] 郝瑞荣,岳文斌,范志勇,等.日粮蛋白质水平对断奶仔猪肠道发育的影响[J].激光生物学报,2009,18(3):383–388.

Effects of Dynamic Supply of Amino Acids on Growth Performance, Carcass Performance, Nutrient Intakes and Intestine Development of Broilers[i]

HUANG Xiangyang LIU Guohua CHANG Wenhuan ZHANG Shu CAI Huiyi*

(*Key Open Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Feed Research Institution, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dynamic supply of amino acids on growth performance, carcass performance, nutrients intake and intestine development of broilers according to the amino acid requirement model. A total of 192 one-day-old Arbor Acres

broilers were randomly assigned into 4 groups as group A (2 phases), group B (3 phases), group C (6 phases) and group D (12 phases), respectively. Each group was represented by 6 replicates with 8 broilers per replicate. The experiment lasted for 42 days. The results showed that: 1) average daily gain of broilers in group A was significantly higher than those in groups B, C and D (P<0.05). Average daily feed intake of broilers among groups A, B and C showed no significant differences (P>0.05), while was all significantly higher than that in group D (P<0.05). The ratio of feed to gain of broilers in group A was significantly lower than those in groups B, C and D (P<0.05). 2) Slaughter rate of broilers in group B was significantly higher than that in groups A, C and D (P<0.05). Eviscerated percentage of broilers in group B was significantly higher than that in groups C and D (P<0.05), meanwhile showed no significant differences compared with group A (P>0.05). Percentage of breast muscle of broilers in group A was significantly higher than that in groups B, C and D (P<0.05), however percentage of abdominal fat of broilers in group A was significantly lower than that in groups B, C and D (P<0.05). 3) The metabolizable energy intake of broilers in group D was significantly lower than that in groups A, B and C (P<0.05). The protein and lysine intakes of broilers in group A were significantly higher than those in groups B, C and D (P<0.05), which in groups B and C were significantly higher than those in group D (P<0.05), too. The methionine intake of broilers in group A was significantly higher than that in groups B and D (P<0.05). Sulfur-containing amino acid intake of broilers in group A was significantly higher than that in groups B and D (P<0.05). The threonine intake of broilers in group D was significantly lower than that in groups A and C (P<0.05). 4) Villus height and the ratio of villous height to crypt depth (V/C) in duodenum of broilers in group A were significantly higher than those in groups B, C and D (P<0.05). However there were no significant differences among 4 groups in villus height, crypt depth and V/C in both jejunum and ileum (P>0.05). 5) At 42 days of age, body weight of broilers in group A was significantly higher than that in groups B, C and D (P<0.05), while which in groups B and C was significantly higher than that in group D (P<0.05). The cost of unit live weight gain of broilers in groups B, C and D showed no significant differences compared with group A (P>0.05). In conclusion, the findings in this study reveal that 2 phases feeding can

promote the development of duodenum and improve the feed intake of broilers. Comprehensive consideration of growth performance, carcass performance and unit weight gain cost, it is recommended to adopt 2 phases feeding in broilers.

Key words: broilers; dynamic amino acids; growth performance; carcass performance; intestine development

---

*Corresponding author, professor, E-mail: caihuiyi@caas.cn (责任编辑　田艳明)